7. Eletrodo Revestido

Arco Elétrico - Eletrodo Revestido (SMAW) é um dos mais versáteis processos de união da indústria e é extensivamente usado no mundo inteiro. Na Índia aproximadamente 10% da soldagem fabricada é feita por este processo e mesmo nos países mais avançados como Rússia, Estados Unidos, Japão e Europa Ocidental conta com aproximadamente 60% do metal depositado por este processo. Seu uso está decrescendo vagarosamente mas é esperado permanecer indispensável para reparos e pequenos trabalhos . Uma de suas características atrativas é seu baixo custo inicial para uma instalação na indústria. Máquinas de solda para SMAW estão disponíveis e podem ser ligadas imediatamente se necessário em cabeamento doméstica monofásica, daí sua popularidade mesmo para pequenos fabricantes.

7.1. Equipamento

O maior equipamento para SMAW é a máquina de solda que pode ser um transformador de tensão, um retificador de Corrente Contínua, ou um grupo motor gerador. A seleção do equipamento depende da provisão para investimento inicial e da faixa de materiais a serem manipulados. O tamanho e tipos de eletrodos que são usados e a penetração e a velocidade de soldagem utilizadas determinam o suprimento necessário para o fornecimento de corrente. As máquinas de soldagem empregadas para SMAW são quase invariavelmente do tipo C.C. já que elas servem ao melhor propósito em manter o arco elétrico não perturbado mesmo quando a mão do soldador é inadvertidamente perturbada temporariamente.

Dos três tipos básicos de máquinas de soldagem cada uma tem suas vantagens. A máquina de solda de C.C., é muito versátil na soldagem de uma variedade de metais em qualquer espessura desejada. Ela permite uma operação portátil e usa de maneira eficiente uma grande variedade de eletrodos revestidos. O transformador de soldagem tem o custo inicial mais baixo bem como o mais baixo custo de operação e manutenção. Ela não tem partes móveis portanto sua operação é silenciosa. A máquina de solda retificadora C.C. tem um projeto simples e combina as vantagens de um transformador de soldagem e de um conjunto de soldagem C.C.

7.1.1. Acessórios dos Equipamentos

Os acessórios para os equipamentos para máquinas de solda incluem cabos, conectores, alicates, cabos terra.

Os cabos que transportam a corrente no circuito de soldagem são bastante flexíveis e são feitos geralmente de cobre e alumínio. Esses fios são muito finos (0,2 mm de diâmetro) e para constituir os cabo estes fios enrolados entre 800 e 2500 fios dependendo da capacidade de transporte de corrente do cabo. Cabos de alumínio são mais leves e pesam somente um terço dos cabos de cobre, mas sua capacidade de transporte de corrente é menor sendo cerca de 60% em relação aos cabos de cobre.

Os conectores de cabos são usados para aumentar o comprimento dos terminais de soldagem devem ter o tamanho adequado para transportar a corrente desejada e devem se ajustar perfeitamente para evitar queda de tensão. Algumas vezes a solda fraca (*Soldering)* ou a soldagem forte (*Brazing*), ou mesmo soldagem comum são usadas para conectar os cabos, mas os conectores mecânicos são os mais populares pois eles podem ser montados ou desmontados.

O alicate é geralmente encaixado no cabo de solda e o tamanho do cabo depende da corrente necessária a ser transportada no circuito de soldagem. Usualmente alicates são especificados dependendo da corrente que eles devem transportar; tendo um intervalo de 150 a 500 A. Os alicates populares têm ranhuras nas garras que facilitam a fixação do eletrodo em diferentes ângulos para uma fácil manipulação.

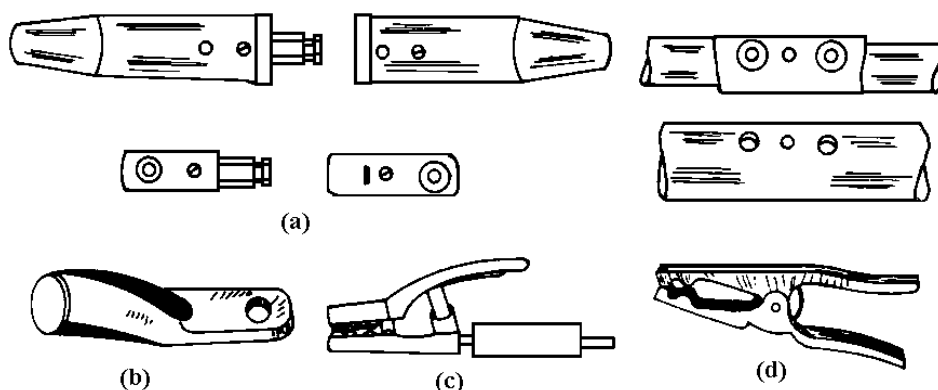



Figura 7.1: Acessórios para SMAW, a) Conectores para cabo, b) Alça para cabo, c) Alicate, d) Grampo de fixação.

O grampo fio terra é usado para conectar o outro terminal do circuito de soldagem, as vezes parece com um alicate, mas geralmente é como um grampo C, mas com seção espessa para evitar superaquecimento. Ocasionalmente o grampo terra é ajustado à mesa de trabalho para evitar centelhamento. Entretanto ele é geralmente preso de uma forma que você possa afrouxá-lo para facilitar o seu desmonte. A figura 7.1 mostra os diferentes acessórios descritos acima.

7.1.2. Acessórios para Operação de soldagem

Os acessórios essenciais do operador incluem martelo de picar, escova de aço e máscara de soldagem para proteger o rosto. O martelo de picar tem de um lado a forma de uma talhadeira e de outro lado pontiagudo para facilitar a remoção da escória. A escova de aço é usada para remover a escória presa firmemente dos lados dos cordões de solda. Ela é geralmente feita de peças de arame de aço duro embutidas num bloco de madeira.

A máscara de soldagem é um acessório indispensável para a soldagem continua e bem sucedida. Ela não só protege os olhos do operador da alta intensidade luminosa do arco elétrico, mas também protege a face dos efeitos danosos dos raios infravermelhos e ultravioleta que são emitidos pelo arco de soldagem. A máscara de soldagem pode ser segura pela mão ou presa à cabeça e pode ser ajustada para cima da cabeça quando for necessário. A cobertura é projetada para cobrir a face inteira e a garganta. A mascara tem uma janela de tamanho 12 x 5 cm que fica diretamente em frente aos olhos durante a

operação de soldagem. Na janela é montado um vidro escuro de proteção capaz de filtrar 99,5% da radiação danosa do arco elétrico. A seleção apropriada do vidro de proteção é essencial e está baseada no processo e no material a ser soldado. Para a SMAW os números dos vidros de proteção mais populares são de 9 a 11 embora vidros de até 14 podem ser usados com freqüência.

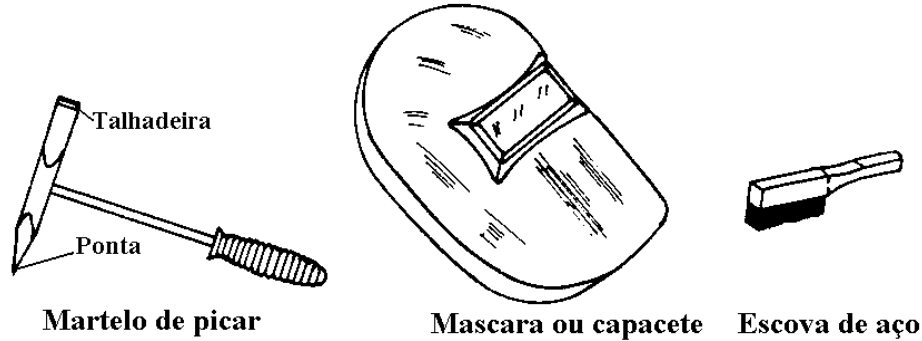



Figura 7.2: Acessórios do operador para SMAW.

Mesmo com o uso da máscara de solda um soldador pode ficar com dor na vista se ele soldar continuamente por longos período, digamos de 6 a 10 horas. A figura 7.2 mostra os diferentes acessórios necessários para o soldador no SMAW.

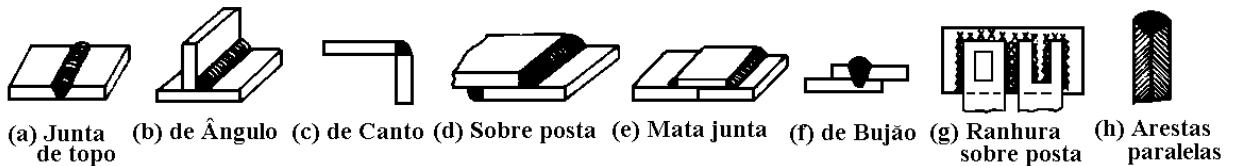



Figura 7.3: Projeto de juntas para SMAW

7.2. Projeto de Juntas para SMAW

Quase todos os tipos de juntas são soldados por SMAW. Isso inclui as juntas de topo, sobrepostas, ângulo ou "T", canto, borda e solda de bujão. Todos esses tipos de juntas estão mostradas na figura 7.3 . Entretanto os tipos de juntas mais comuns para SMAW são as de topo, a sobreposta e a de ângulo.

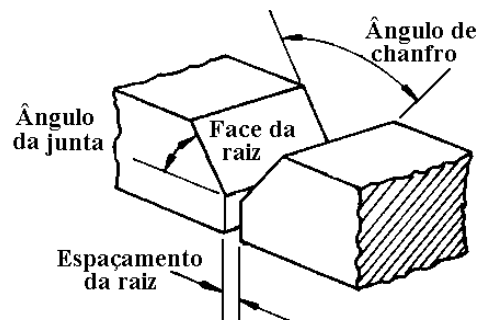



Figura 7.4: Nomenclatura para preparação de borda V

7.2.1. Juntas de Topo

Quando a espessura do material não excede 5 mm geralmente elas são soldadas simplesmente colocando as bordas retificadas juntas uma da outra com espaçamento de 1 a 2 mm. Mesmo as chapas com espessura de 5 a 8 mm podem ser soldadas sem qualquer preparação especial, mas porém aumentando-se o espaçamento de 2 a 4 mm. Este tipo de juntas é referido como junta de topo reto.

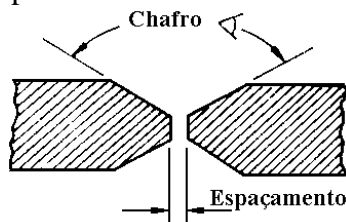



Figura 7.5: Preparação de borda duplo V para chapa grossa.

Entretanto quando a espessura do material exceder 8 mm é geralmente difícil conseguir penetração na borda reta. As bordas são preparadas por usinagem na configuração "V" conforme mostrado na figura 7.4. Quando a espessura da chapa é muito grande, usualmente acima de 20 mm, é melhor ter uma preparação de borda tipo duplo V conforme mostra a figura 7.5 . Isto ajuda a obter boa qualidade de solda sem distorção.

Espessura da chapa mm	Diâmetro do eletrodo mm	Preparação da junta
Até 5 - 8	3 - 4	2-4
4 - 26	4 -5	60°, 2-4, 2-5
12 - 60	4 - 6	60°, 3-5, 3-4

Figura 7.6: Preparação de junta para solda topo.

O espaçamento de raiz é feito de forma que permita penetração total enquanto que a face da raiz evita vazamento de solda devido à excessiva concentração de calor nas bordas afiadas. O ângulo do chanfro depende da fusão apropriada dos lados com metal de solda do eletrodo. É selecionado para permitir a completa limpeza da escória da raiz e dos cordões afetados. A figura 7.6 mostra variações de espessura de chapas usadas para junta de topo reta, simples V e juntas duplo V.

7.2.2. Juntas Sobrepostas

Uma junta sobreposta é aquela em que as chapas se sobrepõem umas ás outras. Este tipo de junta não é muito recomendada e não deve ser usada a menos que seja necessário. Quando for adotada este tipo de junta a sobre posição deve ter entre de 3 a 5 vezes a espessura da chapa, ***t***. As soldas são feitas em ambos os lados como mostrado na figura 7.7.

É necessário que seja feita uma limpeza nas juntas, e as chapas são facilmente alinhada e montada. Comparando com a junta de topo, a junta sobreposta tem as seguintes desvantagens:

(i) Perde-se metal ao fazer-se a sobreposição;

(ii) Juntas sobrepostas em tubulações exigem que os tubos tenham diâmetros diferentes de forma que você possa encaixar um no outro para se conseguir a superposição. Isto não só acarreta obstruções ao fluido na tubulação, mas também permite uma solda ao invés de duas a menos que tenha um grande diâmetro a permitir a entrada do soldador dentro dela.

Juntas sobrepostas não são recomendadas para chapas com espessura acima dos 10 mm

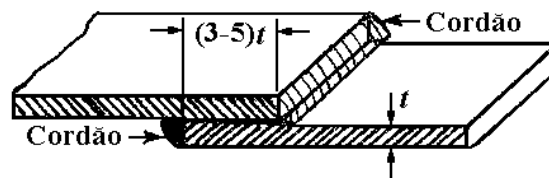



Figura 7.7 - Solda em junta sobreposta.

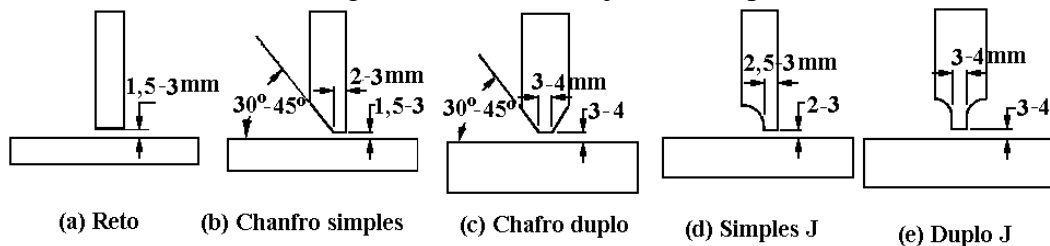



Figura 7.8: Preparação de juntas de ângulo.

7.2.3. Soldas de Ângulo

Soldas de ângulo são extensivamente utilizadas pelo processo SMAW. Dependendo da espessura das chapas o membro vertical pode ter preparação quadrada, chanfrada ou junta "J" conforme mostra a figura 7.8 . O objetivo da preparação de junta é permitir a necessária penetração e resistência. Essas juntas podem ser obtidas num passe simples ou múltiplos passes dependendo da espessura da chapa e da preparação da junta.

A seleção da junta dos três tipos e suas variantes discutidas acima, serão governadas pela espessura e pelo alinhamento das partes envolvidas bem como do propósito e das condições de serviço da junta resultante. Para qualquer situação dada o projetista deve encontrar a melhor junta do ponto de vista da facilidade da soldagem e performance satisfatória em serviço.

7.3. Circuito de Soldagem

Um circuito elétrico genérico para SMAW está mostrado na figura 7.9 .

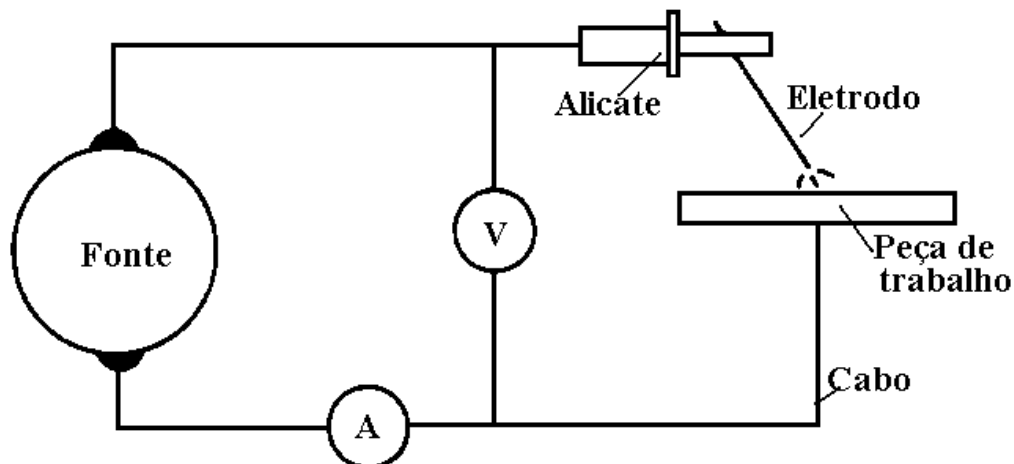



Figura 7.9: Diagrama do circuito para SMAW.

7.4. Operação em SMAW

Uma vez que as conexões elétricas estão feitas e o eletrodo revestido está preso no alicate e o sistema está pronto para operar. Os únicos ajustes necessários antes de iniciar o arco são os valores de tensão de circuito aberto (TCA) e a corrente de soldagem. Num transformador de soldagem usualmente duas colocações para TCA são feitas e são de 80 e 100 volts. Um retificador ou um gerador de soldagem a TCA pode variar numa faixa em degraus de 3 a 6 volts que não precisam necessariamente serem regulares. A colocação da TCA para uma fonte CC é usualmente 10 a 20% menor que para um transformador de solda da mesma faixa de corrente. A TCA é selecionada dependendo do tipo de revestimento utilizado. Os valores de corrente estão usualmente disponíveis em degraus de 5 a 10 A e necessitam ser ajustados dependendo do diâmetro da alma do eletrodo. A tabela 7-1 dá a faixa de ajuste da corrente para diferentes diâmetros de eletrodo revestido usado para soldagem em aços de baixo carbono.

TABELA 7-1: Fonte de corrente para eletrodo revestido para aço doce do tipo rutílico.

Diâmetro do eletrodo (mm)	Escala de corrente (A)
2.0	40- 70
2.5	60-100
3.15	90-140
4.0	140-200
5.0	160-220
6-3	240-320

Depois de ajustar a TCA e a corrente de soldagem a outra medida necessária é prever a proteção aos olhos antes de iniciar o arco no começo da soldagem.

7.4.1. Inicializando o Arco Elétrico

Para iniciar um arco é necessário ionizar um pequeno ponto onde a soldagem está prestes a começar. Isto é particularmente verdade quando o material de base e o eletrodo estão frios.

Dois métodos são normalmente utilizados para riscar um arco em SMAW. Estes são conhecidos como métodos "tocar e retirar" e "arrastar". No método "tocar e retirar", o eletrodo toca o material base no ponto desejado e é rapidamente retirado para uma distância de 3 a 4 mm. Qualquer atraso de tempo causará um curto circuito causando fusão entre o eletrodo e o material base, isso geralmente acontece com os novatos. Não é possível riscar um arco na primeira tentativa e portanto o procedimento pode ser repetido duas, três ou mais vezes para iniciar um arco satisfatoriamente.

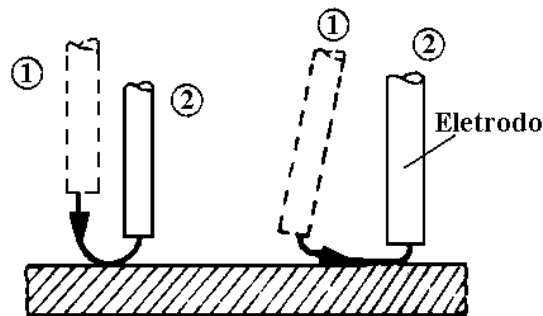



Figura 7.10: Método de abrir um arco em SMAW.

No caso do método de "arraste" para iniciar um arco, o eletrodo é riscado contra a peça de trabalho num ponto desejado e isto ajuda na ionização de um pequeno volume de espaço em volta do ponto e também alguns vapores de metal são liberados. Estas condições ajudam na abertura do arco, mas é mais fácil e geralmente adotado pelos novatos, enquanto que o método de "tocar e retirar" dá uma partida de solda limpa e é preferido pelos soldadores mais experientes. Ambos os métodos de iniciação do arco são mostrados na figura 7.10 .

Tendo iniciado um arco estável para se conseguir uma boa soldagem SMAW é necessário controlar o comprimento de arco. Na soldagem SMAW os melhores resultados são conseguidos com comprimento de arco de 2 a 4 mm alternativamente ele pode ser determinado pela relação:

$$L = (0{,}5 - 1{,}1)\ d \qquad \text{...} \qquad 7.1$$

Onde L é o comprimento do arco e d é o diâmetro do eletrodo.

Em SMAW são inevitáveis pequenos movimentos na mão do soldador e a conseqüente mudanças no comprimento do arco. Isto leva à mudança na taxa de fusão do eletrodo e portanto pode afetar a consistência do cordão de solda. Para evitar qualquer flutuação na taxa de fusão a máquina de soldagem que melhor se ajusta para este propósito é a de C.C..

Uma vez que um arco estável é estabelecido ele permanece estável até que o eletrodo esteja consumido ou o trabalho terminado. Entretanto em tempos o arco elétrico pode se extinguir devido a outras razões com interrupção de energia da fonte. Nestes casos o arco tem que ser reiniciado no ponto de interrupção ou em outro ponto no material base.

7.4.2. Reacendendo o Arco Elétrico

Reacender um arco com o eletrodo semi aquecido e com material base quente é comparativamente fácil já que a emissão eletrônica está facilitada pela alta temperatura do eletrodo / material de base. Antes de tentar reacender o arco é essencial retirar completamente a escória do cordão de solda perto da cratera usando o martelo de picar. O ponto deve então ser limpo com ajuda de uma escova de aço.

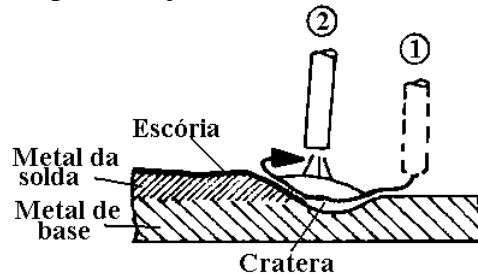



Figura 7.11: Reacendendo um arco interrompido.

O reacendimento do arco deve sempre ser tentado num ponto de 15 a 25 mm à frente da cratera e à frente do cordão de solda. Uma vez que um arco estável foi estabelecido ele é movido em direção à cratera da solda onde é mantido momentaneamente a encher a cratera e depois rapidamente se move na direção desejada para encontrar a solda como mostrado na figura 7.11 .

O reacendimento do arco na frente da cratera é feito para evitar aprisionamento de escória no metal de solda.

É geralmente observado que o cordão de solda se torna largo e alto no ponto de reabertura, e isto acontece devido a uma sobresoldagem da cratera. Isto deve ser evitado o tanto quanto possível, porque não é só má aparência mas também fonte de defeito de solda como aprisionamento de escória, porosidade e trincas.

7.5. Fusão do Metal e Penetração da Solda

Para fazer uma boa soldagem é essencial que uma fusão apropriada seja obtida entre o metal base e o depositado pelo eletrodo. Para se conseguir isto a superfície do material base deve ser completamente fundida de modo a formar uma cratera de arco de profundidade suficiente, de outra forma resultará uma cratera rasa. Neste último caso as gotas do metal vindas do eletrodo não estarão em condições de se fundir com o material base. Estas gotas, se depositadas no metal base, apenas assentarão na superfície sem qualquer fusão. A soldagem resultante será apenas uma camuflagem.

Para obter uma boa solda, a profundidade de penetração não pode ser menor que 1.5 a 2 mm. Em SMAW, dependendo da corrente de solda, a penetração usualmente varia entre 1.5 a 5 mm. Uma estimativa da penetração pode ser feita ao observar-se a profundidade da cratera. Se durante a soldagem o arco for repentinamente extinguido ele deixa para trás uma cratera de solda no material base que quando solidificada tem o mesmo tamanho que aquela durante a presença do arco. A penetração normalmente se estende de 1 a 2 mm abaixo da superfície da cratera.

A profundidade da penetração depende do calor adicionado no material base por unidade de tempo, e portanto depende da corrente de soldagem. Uma seção reta de uma chapa com vários cordões de solda depositados, com varias correntes podem mostrar a influência da corrente de soldagem na profundidade da penetração.

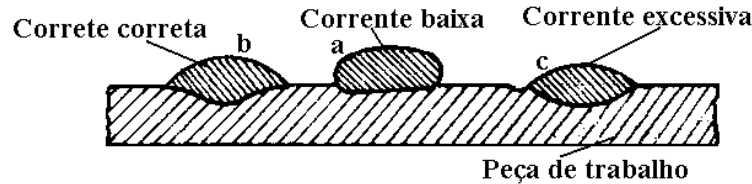



Figura 7.12 Efeito da corrente de soldagem na penetração do cordão.

A figura 7.12 mostra a seção reta de três cordões de solda. O cordão A foi depositado com uma corrente muito baixa, o cordão B com uma corrente de soldagem apropriada e o cordão C com excesso de corrente. Devido à corrente de soldagem insuficiente na deposição do cordão A, surgiu falta de penetração; de fato o cordão dificilmente tem alguma dificuldade de penetração. O metal vindo do eletrodo apenas se fundiu na superfície do material base. As bordas da solda são redondas, caindo abruptamente no material base provendo um perfeito entalhe, portanto formando pontos de concentrações de tensão. Esse tipo de solda apresenta baixa resistência e um cordão como este pode se destacar completamente da superfície do material base com impacto de uma talhadeira.

A borda do cordão B imerge suavemente no material base. O material base foi apropriadamente fundido e uma mistura adequada do metal de solda do eletrodo e do material base dão uma boa penetração de configuração desejada.

O uso de uma corrente excessiva para depositar o cordão C resultou numa força excessiva no arco, a cratera não se encheu com o metal fundido do eletrodo. Isto resultou em mordedura nas bordas do cordão de solda que reduziu a espessura do material base e consequentemente reduziu a resistência da solda e também proveu pontos de concentração de tensão. Estes pontos são especialmente perigosos no caso de fadiga e carga de impacto.

Para controlar a penetração escolhemos uma corrente de soldagem de acordo com o diâmetro e tipo de eletrodo. Entretanto para soldagem plana para juntas de topo em aço baixo carbono a corrente de soldagem pode ser determinada grosseiramente através das seguintes relações:

$$I = (40 - 60).\ d \qquad (7.2)$$
$$I = (20 + 6d).d \qquad (7.3)$$

Onde I é a corrente de solda em ampères e d é o diâmetro do eletrodo em mm.

A corrente de soldagem necessária para o eletrodo com revestimento fino é mais baixa que aquelas para eletrodos com revestimento espesso. A corrente ótima para um dado eletrodo e material base pode ser achada por tentativa e erro, ao depositar-se um número de cordões, usando-se as equações 7.2 e 7.3 . A cratera do arco e a aparência do cordão podem prover uma referência adequada para o ajuste da corrente apropriada. Altas correntes são necessárias para seções espessas e tamanho de eletrodo grande para se obter a penetração desejada, devido às espessas seções agirem como eficientes sorvedouros de calor. Primeiramente um tamanho de eletrodo para uma dada espessura de chapa deve ser

escolhido e então combina-se com eles a corrente de soldagem. A tabela 7.2 dá a guia para escolha de diâmetros de eletrodos para soldagens em juntas de topo em chapas de aço.

TABELA 7.2: Seleção de diâmetros de eletrodo para juntas de topo em chapas de aço.

Espessura do Metal, mm	0.5 - 1.5	1.5 - 3	3 - 5	5 - 8	8 - 12	12 - 20 e acima
Diâmetro do Eletrodo, mm	1.5 - 3	2 - 3.15	3.15 - 4	4- 5	4-6.3	5 - 6.3

Em solda múltiplos passes, a primeira corrida deve ser feita com eletrodos não mais do que 2 a 3,15 mm de diâmetro. Para soldagem sobre cabeça vertical o eletrodo deve ter o diâmetro máximo de 4 mm. Eletrodos de 5 mm de diâmetro podem ser usados na soldagem plana particularmente nos cordões de enchimento e acabamento.

A despeito da alta taxa de produção encontrada em eletrodos de 6,3 mm de diâmetro não é recomendado usar esses eletrodos exceto para chapas longas e largas em soldagem plana, de outra forma a poça de fusão se torna muito grande, de difícil manipulação com pobre qualidade de solda como resultado.

7.6. Movimentação dos Eletrodos

A largura do cordão de solda formado sob condições normais de soldagem em SMAW está entre 1,5 a 2,5 vezes o diâmetro do eletrodo; com boa penetração e passagem suave do metal depositado na superfície do material base. Para conseguir isto o comprimento do arco é mantido tão curto quanto possível sem que o eletrodo cole no metal base dando ao eletrodo três tipos de movimentação simultaneamente. Uma movimentação alimentação (mergulho) contínua e uniforme do eletrodo em direção à poça de fusão, o segundo movimento é o avanço (translação) do arco ao longo da junta e o terceiro movimento é a oscilação lateral ou movimentação de tecimento através do arco. Todos esses três movimentos estão mostrados na figura 7.13 .

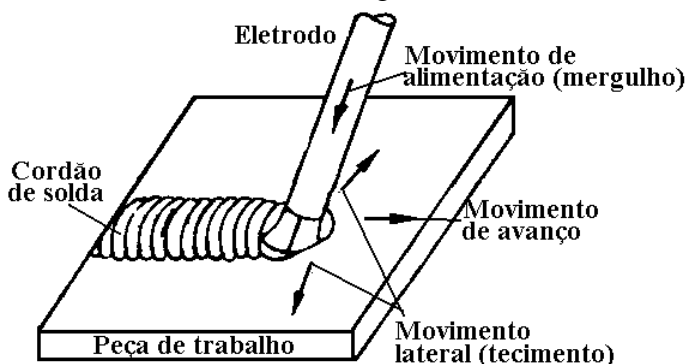



Figura 7.13: As três movimentações do eletrodo durante a soldagem.

Quando o arco avança sem oscilação (tecimento) lateral o comprimento do cordão é usualmente 1 a 2 mm a mais que o diâmetro do eletrodo. O cordão assim obtido é chamado de cordão filetado.

A movimentação trançada (tecimento) durante a solda é usado quando é necessário um cordão espalhado ou trançado. Cordões trançados são normalmente usados quando são feitas soldas de topo e de ângulo.

O trançamento (tecimento) pode ser feito em vários padrões dependendo do tipo de solda, da preparação da junta e da habilidade do soldador. A figura 7.14 mostra diferentes padrões de trançamento que são usados pelos soldadores para produzir boas soldas. As soldas mostradas na figura 7.14 (A e I) são as mais usadas em soldagens de topo. Os padrões de trançamento para soldas de ângulo dados na figura 7.14 (D e G) são os mais apropriados.

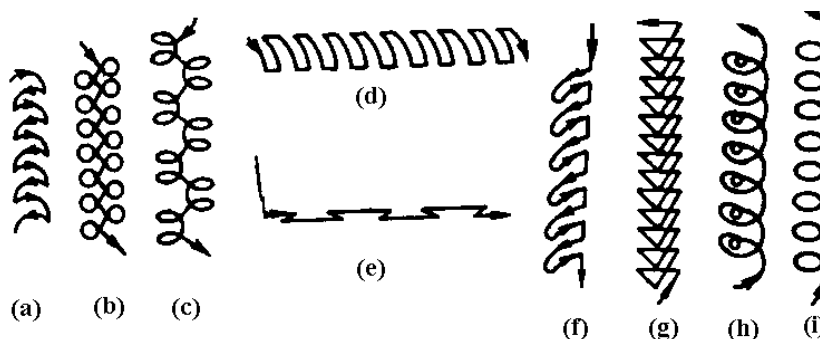



Figura 7.14: Padrões de movimentação de eletrodo.

Os padrões (a) e (e) são usados onde mais calor é necessário ser aplicado em ambos os lados da junta; o padrão (b) é particularmente adequado para chapa grossa. O padrão (f) é particularmente adequado quando mais calor deve ser aplicado a uma borda enquanto os padrões (g) e (h) são úteis quando o calor deve ser aplicado no meio da solda.

Para termos um cordão consistente é essencial que o balanço do movimento de trançagem seja mantido constante. Podemos obter uma solda correta, bem penetrada, sadia e de alta qualidade somente se os movimentos do soldador forem bem controlados em todas as três direções e só se consegue isso através da prática e experiência.

7.7. Posições de Soldagem

Dependendo da posição durante a soldagem, as soldas são classificadas em quatro grupos básicos, isto é, solda plana, horizontal, vertical e sobre cabeça.

De acordo com as normas internacionais a soldagem plana é a solda em qualquer direção em uma superfície horizontal, uma solda horizontal é uma corrida horizontal em uma superfície vertical, uma solda vertical é aquela que é feita verticalmente em uma superfície horizontal e uma solda sobre cabeça é aquela depositada acima da cabeça do soldador. Todas essas posições de soldagem estão mostradas na figura 7.15.

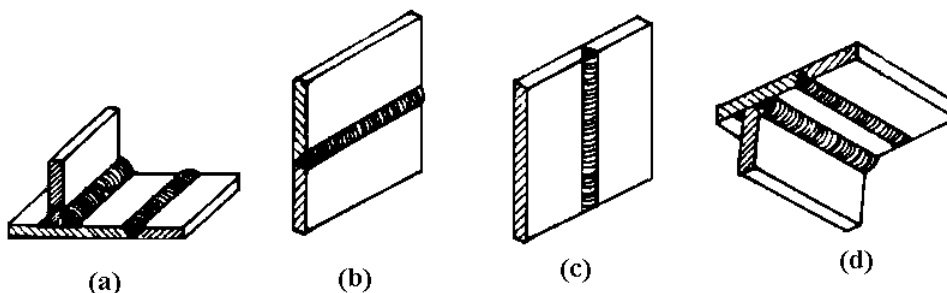



Figura 7.15 - Diferentes posições de soldagem, a) Plana, b) Horizontal, c) Vertical, d) Sobre-cabeça

7.7.1. Soldagem Plana

A soldagem plana é a posição de soldagem mais utilizada. De fato a soldagem que não é feita nesta posição é dita como soldagem fora de posição. Esta posição é a mais popular, pois requer menos habilidade para se produzir boa solda com a máxima penetração. Não há perigo do metal fundido escorrer para fora da poça de fusão. É também conveniente observar o progresso da soldagem nessa posição. A maioria das soldagens em galpão são feitas na posição plana. Dispositivos bem elaborados chamados posicionadores são empregados para girar as peças e trazê-las para a posição de soldagem plana.

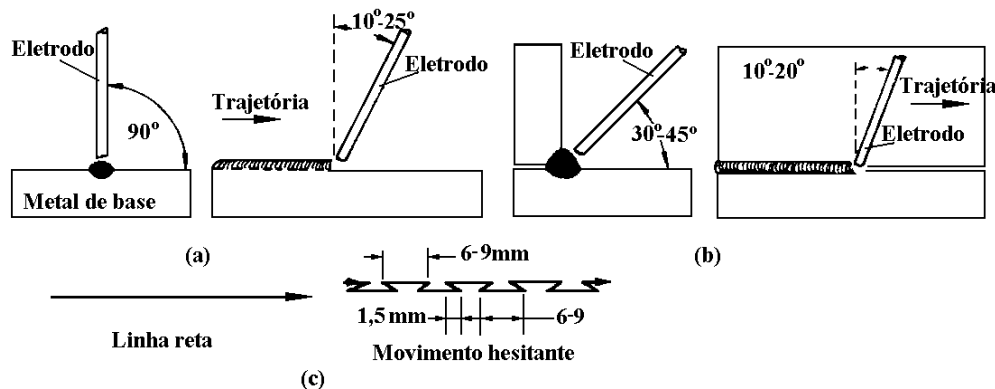



Figura 7.16: Técnicas de soldagem SMAW na posição plana, a) Eletrodo reto, b) Eletrodo inclinado

Não há regra definida para o ângulo ao qual o eletrodo deve ser mantido entretanto é mantido usualmente a 90 graus em relação ao material de base com eletrodo inclinado de 10 a 25 graus na posição de soldagem conforme mostra a figura 7.16 . A seleção deste ângulo depende dos ajustes de tensão e corrente na máquina de solda, e da espessura do material base. O típico movimento do eletrodo na posição plana são ambos os movimentos cordão reto ou cordão trançado conforme mostrado na figura 7.16 c.

Soldagem plana é usada principalmente para soldas de ângulo, de topo e soldas de revestimento.

7.7.1.1. Soldagem Plana para Juntas de Topo

Soldagem de topo quadrada é empregada para espessura de chapa de até 5 mm e o espaçamento de chapas é mantido de 2 a 4 mm.

Um cordão levemente espalhado com boa fusão das faces é depositado ao longo das juntas e a altura do reforço é limitado ao máximo de 2 mm. Se uma corrida de selagem for necessário ser depositado então o trabalho é interrompido o excesso de metal é esmerilhado e a junta completamente limpa com escova de aço antes da soldagem.

Em uma união em V simples com chapa de 6 a 8 mm de espessura, pode ser depositado apenas um cordão simples de solda. Para se conseguir penetração completa é essencial ter fusão total das faces do chanfro. O arco deve ser começado no ponto "S" perto da borda do chanfro e então movido para dentro deste de forma a obter uma boa penetração de raiz da solda. O caminho da soldagem é mostrado na figura 7.17 seguindo as setas.

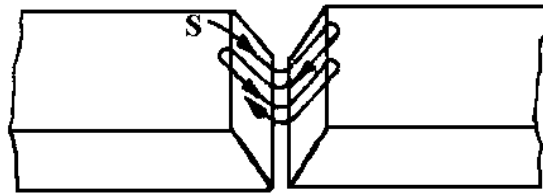



Figura 7.17: Movimentos do eletrodo numa junta de topo V simples.

Para conseguir uma boa penetração na face do chanfro é essencial manter um movimento lento e uniforme durante a soldagem. Entretanto, enquanto se movimenta de uma face do chanfro à outra, é necessário agilizar a soldagem para evitar queimar o material durante a solda.

Para espessuras de chapa maior que 8 mm é necessário ter mais que uma corrida de solda. O primeiro ou passe de raiz deposita metal até uma altura de 4 a 5 mm com eletrodo de 3,15 a 4 mm de diâmetro. Depois de limpar o passe de raiz, o próximo cordão de solda é feito com eletrodo de 4 a 5 mm de diâmetro. A área da seção transversal, F, do cordão a ser depositado está usualmente relacionada com o diâmetro do eletrodo utilizado. A figura recomendada para a área da seção transversal do passe de raiz é dado pela relação,

F_r = (6 a 8) .d..7.4

Para os passes subsequentes a magnitude da área da seção reta pode ser determinada pelo uso da seguinte equação,

F_s = (8 a 12).d 7.5

Onde d é o diâmetro do eletrodo em milímetros.

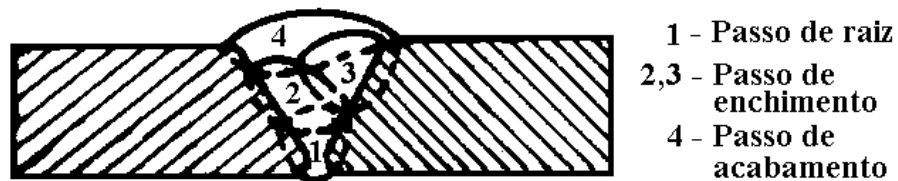



Figura 7.18: Soldagem de topo ou soldagem múltiplos passes.

Em soldagem de múltiplos passes é essencial limpar a escória e os salpicos antes de fazer os passes subsequentes e uma boa penetração das faces do chanfro como mostra a figura 7.18. Após o enchimento do chanfro V o passe de acabamento "ou passe cosmético" é feito para dar uma boa e uniforme aparência com apropriado reforço. Para fazer um passe de selagem o trabalho é parado, o metal de solda é esmerilhado de modo manual ou com uma talhadeira pneumática; limpa com uma escova de aço e um cordão de selagem é depositado. Quando a solda não for acessível pelo lado reverso é imperativo selá-la completamente enquanto se deposita o passe de raiz.

O procedimento de preparação de juntas com chanfros duplo V é o mesmo que os para simples V, entretanto, o trabalho tem que ser parado um número de vezes dependendo da quantidade de corridas se o lado reverso tiver que ser soldado na posição plana.

A preparação de borda duplo V é aplicável às chapas com espessura acima de 12 mm. O chanfro V é enchido com solda múltiplos passes em ambos os lados, sendo que o número de corridas depende da espessura da chapa.

7.7.1.2. Solda Ângulo na Posição Plana

As soldas de ângulo são feitas na posição plana que às vezes são conhecida como solda de posição horizontal. Uma peça é posicionada horizontalmente e a outra perpendicularmente a ela; a solda é depositada na interseção das duas partes - em um lado ou em ambos os lados. Soldas de ângulo apresentam geralmente pouca penetração na raiz da solda e pouca fusão em uma superfície. Na soldagem de ângulo o eletrodo, é igualmente inclinado em relação às superfícies horizontal e vertical. Este ângulo, entretanto, pode variar de forma a distribuir o calor nas duas superfícies conforme mostra a figura 7.19 .

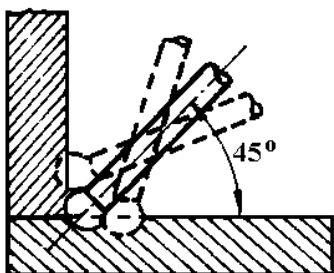



Figura 7.19: Ângulos do eletrodo em soldas de ângulo.

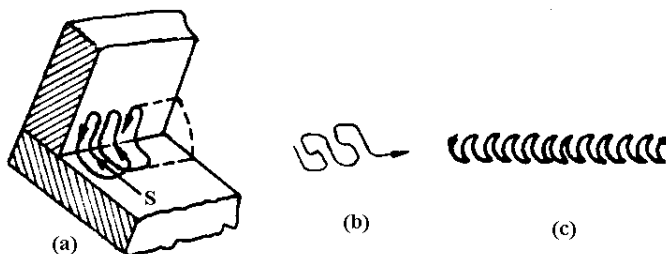



Figura 7.20: Movimentação do eletrodo em soldas de ângulo, (a) Movimento do eletrodo para um único passo, (b,c) movimento do eletrodo para passo de enchimento para múltiplos passos.

Semelhante às soldas de topo, as soldas de ângulo podem ser feitas com passes simples ou múltiplos. Solda de ângulo com comprimento de perna de até 8 mm são usualmente feitas em passe simples. Para iniciar a soldagem de ângulo o arco é riscado na superfície horizontal a uma distância igual a perna do ângulo mais 3 a 4 mm, digamos a um ponto S e o eletrodo então segue o caminho indicado pelas setas na figura 7.20 (a). A solda não deve começar na peça vertical ou no canto, já que isto usualmente faz com que material de base não seja fundido e aparecerá falta de fusão na raiz.

Quando se faz uma solda de ângulo múltiplos passes o primeiro passe é feito com eletrodo de 3,15 mm a 4 mm de diâmetro sem oscilação o que assegura boa penetração na raiz da solda. Para os passes subsequentes o eletrodo é movimentado nos padrões mostrados na figura 7.20 (b) e (c).

7.7.1.3. Soldagem de Enchimento

A soldagem de enchimento consiste em sucessivas camadas superpostas de cordão de solda. È usada na recomposição de peças quebradas ou desgastadas, no reparo de defeitos de usinagem ou para fazer protuberâncias localizadas numa peça, e para enchimento de grandes cavidades quando seções espessas são soldadas. Dependendo do espaço a ser enchido uma soldagem de enchimento pode ser feita em camadas simples ou camadas múltiplas.

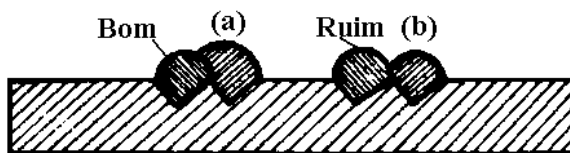



Figura 7.21 Cordões depositados numa soldagem de enchimento.

Para depositar uma solda de enchimento a superfície é completamente limpa antes de depositar o primeiro cordão na borda da superfície usando cordão estreito ou levemente espalhado. Isto é seguido pelos passes subsequentes cuidadosamente estudados para se conseguir uma completa união entre o material base e as corridas precedentes como mostrado na figura 7.21. Se os dois cordões de enchimento adjacentes são separados por uma depressão - figura 7.21 (b) - então o enchimento não será contínuo e portanto pode ser insatisfatório. Antes de se depositar o próximo cordão, os cordões já depositados devem ser completamente livres de escoria com ajuda de talhadeira e de uma escova de aço. No enchimento de múltiplas camadas cada conjunto de cordões de solda que formam uma camada devem ser completamente limpos antes de depositar a próxima camada. Cuidado deve ser tomado na limpeza de cordões depositados com eletrodos que tenham enchimento espesso já que eles produzem mais escória que permanecem grudados nas depressões e nas mordeduras. Depois de completar uma camada de cordão de enchimento a próxima camada de cordões deve ser depositada através da primeira camada para produzir um padrão transversal.

7.7.2. Soldagem Horizontal

A taxa de metal depositado na soldagem horizontal é parecida com depositada na soldagem plana, portanto ela é muito usada. Esta posição de soldagem é encontrada mais comumente na soldagem de vasos de pressão e reservatórios. A preparação da borda é usualmente de chanfro simples. Para evitar que o metal escorra pela borda inferior da chapa, a mesma não é chanfrada. Pela mesma razão a iniciação do arco é feita na borda horizontal da chapa inferior e então movido para a face chanfrada enquanto movimenta o eletrodo para trás conforme mostrado nas posições 1, 2 e 3 na figura 7.22. Em chapas mais grossas do que 8 mm as soldas são depositadas em múltiplos passes. Os movimentos preferidos para os eletrodos na soldagem horizontal são as do tipo C, J, O e trançado. O ângulo do eletrodo com a horizontal está entre 5 e 25 graus com a ponta do eletrodo apontada para cima para reduzir efeito da gravidade no metal fundido, e a inclinação da direção de soldagem é de 10 a 25 graus conforme mostrado na figura 7.23 .

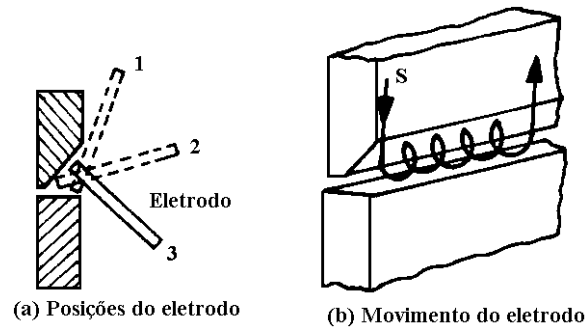



Figura 7.22: Posições de eletrodos e movimentos na soldagem horizontal.

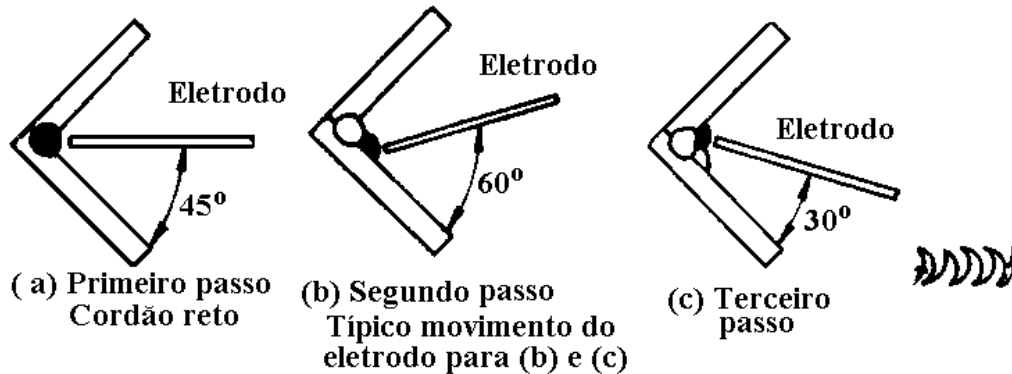



Figura 7.23: Inclinações de eletrodo na soldagem horizontal.

O escorrimento da poça de fusão pode ser evitada mantendo-se o comprimento de arco curto e um rápido movimento de eletrodo maior que na posição plana. O rápido movimento de eletrodo ajuda no rápido resfriamento do metal depositado e isso diminui a chance da poça de fusão cair. Uma soldagem horizontal imprópria leva a mordeduras e superposições conforme mostrado na figura 7.24 .

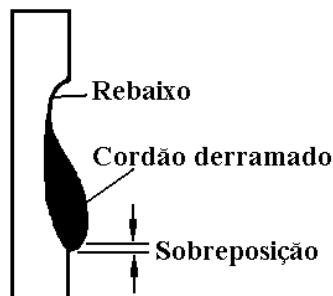



Figura 7.24: Soldagem horizontal inadequada.

7.7.3. Soldagem Vertical

Soldagem vertical tem duas variantes exemplo: vertical ascendente e vertical descendente. A soldagem vertical ascendente devido ao fato que ela permite que o calor penetre profundamente resultando em penetrações profundas da solda. Ela também produz soldas mais fortes e portanto é a preferida quando a maior consideração é a resistência. A soldagem vertical descendente é usada nas operações de selagem e soldagem de chapas finas.

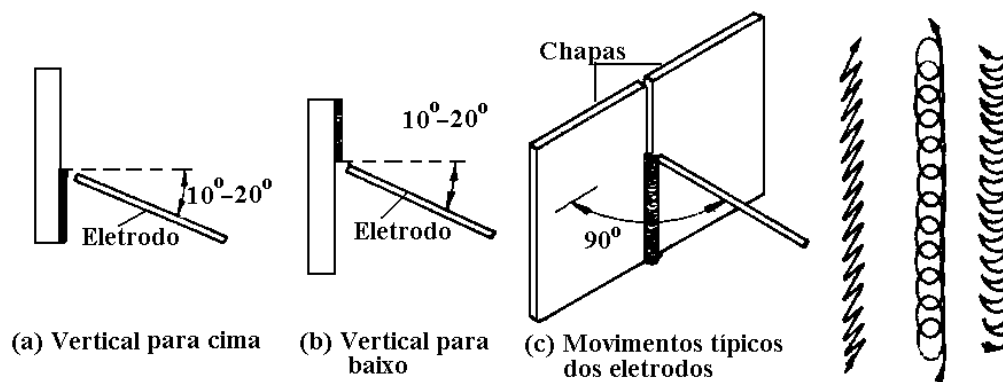



Figura 7.25: Inclinação do eletrodo na soldagem vertical.

Soldas verticais de topo com preparação de borda V simples ou duplo V, bem como soldagens verticais de ângulo são feitas do mesmo jeito que as soldas planas. Na soldagem vertical é boa prática não usar eletrodos maiores que 4 mm de diâmetro já que com eletrodos com diâmetro maior é mais difícil evitar que a poça de fusão escorra para baixo. Para se opor à força da gravidade o eletrodo é inclinado para baixo de um ângulo de 10 a 20 graus, como mostra a figura 7.25 . Isto obviamente torna mais fácil o acesso ao progresso da soldagem na posição vertical ascendente.

Soldagem vertical é simplesmente a deposição de uma poça de solda diretamente sobre a próxima poça que é melhor conseguida no modo curto-circuito como transferência de metal, portanto, é imperativo manter o comprimento de arco bem curto. Os movimentos típicos de eletrodo são o oval, o C com oscilação nos terminais do C, ou movimento trançado. Os maiores movimentos a serem evitados no movimento dos eletrodos são: a extinção do arco, a perda da coluna do arco e o reacendimento sem limpeza do material de solda. Os movimentos oscilatórios que são usados na soldagem vertical ascendente podem também ser aplicados na soldagem vertical descendente. O maior problema na soldagem vertical descendente é o fato que a escória geralmente corre na frente da poça de fusão e nela fica aprisiona. Isto também resulta em pouca penetração. A soldagem vertical descendente deve, entretanto, dever ser evitada quando objetivo principal é a resistência da solda.

Em soldagem vertical múltiplos passes é comum depositar-se o passo de raiz por soldagem vertical descendente seguido da soldagem vertical ascendente para os passos subsequentes.

Soldagem é extensivamente usada na soldagem de tanques de armazenamento, tubulações e reservatórios.

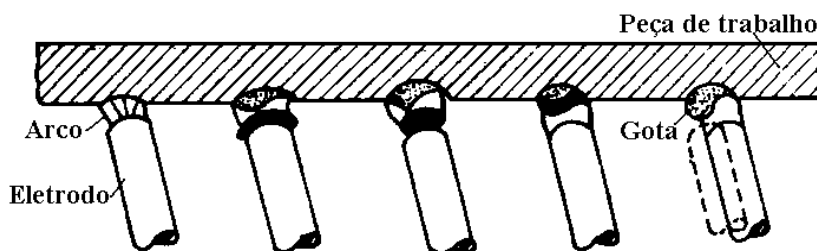



Figura 7.26: Transferência de metal na soldagem sobre cabeça

7.7.4. Soldagem Sobre Cabeça

A soldagem sobre cabeça não é somente a mais difícil de se conseguir devido a poça de fusão estar na posição de cabeça para baixo e o metal tende constantemente a cair mas também a mais perigosa devido ao centelhamento e aos respingos. Para uma soldagem sobre cabeça bem sucedida é entretanto essencial usar um arco muito curto no modo de transferência de metal curto-circuito conforme mostrado na figura 7.26. Para manter a poça de solda pequena, os eletrodos empregados na soldagem sobre cabeça não tem mais que 3,15 mm de diâmetro. O eletrodo deve ser movimentado de 10 a 25 graus na direção da solda com rápida manipulação do eletrodo para provocar uma rápida solidificação do metal depositado. Os movimentos do eletrodo comumente utilizados na soldagem sobre cabeça incluem oval, trançado e zig-zag conforme mostra a figura 7.27

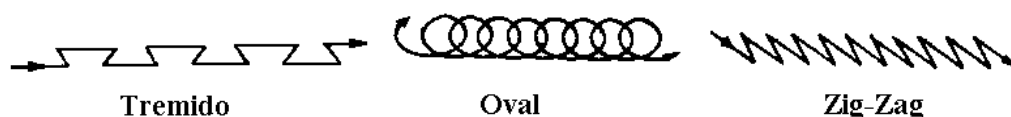



Figura 7.27: Movimentos típicos de eletrodo na soldagem sobre cabeça

É uma boa prática usar eletrodos com revestimento básico na soldagem sobre cabeça. Este tipo de revestimento se funde a uma taxa mais baixa do que a alma do eletrodo e portanto provê uma barreira protetora ao metal fundido a ser projetado na poça de fusão; isto também resulta em menos salpico. A corrente usada na soldagem sobre cabeça é 20 a 25% mais baixa do que na soldagem plana.

Também é recomendado que o soldador deva jogar o cabo do eletrodo sobre seus ombros para evitar a puxada para baixo do peso do cabo. Isto também reduz a fadiga do braço e da mão já que desta forma o peso do cabo está suportado pelos ombros.

7.8. Variantes do Processo SMAW

O processo SMAW é feito normalmente com eletrodos revestidos com diâmetros maiores, entre 2,5 e 6,3 mm, usando de pequeno a médio comprimento de arco. Entretanto existem umas poucas variantes do processo, as mais típicas incluem:

(i) Soldagem com eletrodo por contato (curto-circuito)
(ii) Soldagem com feixe de eletrodos (múltiplos eletrodos)
(iii) Soldagem com arco múltiplo
(iv) Soldagem com eletrodo maciço

7.8.1. Soldagem com Eletrodo por Toque (Curto Circuito)

Soldagem com eletrodo por curto-circuito é comparativamente uma técnica mais nova que ajuda a melhorar a taxa de produção e a qualidade da solda.

Na soldagem com eletrodo por curto-circuito o arco é iniciado de modo usual mas assim que um arco estável seja estabelecido, o eletrodo é levado em direção ao material de base de forma que o revestimento o toque. O eletrodo é movido então no curso desejado enquanto o revestimento permanece em contínuo contato com o material base. O eletrodo é inclinado de 10 a 15 graus em relação a vertical na direção da solda.

O sucesso da soldagem com eletrodo por toque está baseado no fato que a taxa de fusão do material de revestimento é mais baixa que o da alma do eletrodo. Isto provê uma barreira de proteção ao redor do arco e o material é transferido por esta passagem protegida. O comprimento de arco pode ser manipulado pela pressão exercida sobre o eletrodo. A taxa de avanço do eletrodo deverá ser tal que o metal fundido, escória, e a guia não fundida pelo revestimento esmigalhado são deixados para trás e o eletrodo não fica em curto circuito na poça de fusão. A largura de solda pode ser controlada pela pressão sobre o eletrodo na direção de solda; tanto maior a pressão, menor a gota de solda.

Eletrodos usados para soldagem por curto-circuito normalmente são do tipo rutílico e com variados tipos de revestimento básico e espessos. O revestimento espesso é essencial para assegurar bordas não fundidas, com que estabilizam a técnica de soldagem por curto-circuito.

Soldando por eletrodo a curto-circuito a penetração é mais profunda do que a alcançada pelo método convencional, isto é devido a concentração de calor dentro de uma pequena área protegida pelo revestimento passagem não fundida. Isto resulta em maior taxa de produção cerca de 50%. Soldagem pôr curto-circuito é aplicável a solda sobre cabeça simples, solda filete e de topo (Figura 7.28) como também solda trançada e solda de canto. O método pode ser usado para solda múltiplos passes mas com eficiência reduzida.

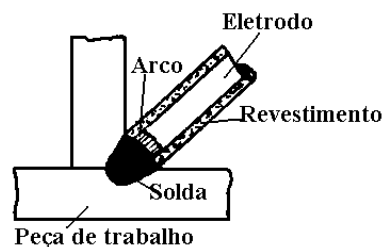



Figura 7.28: Soldagem por eletrodo a curto-circuito utilizado na solda de ângulo.

7.8.2. Soldagem com Feixe de Eletrodo (múltiplos eletrodos)

Na soldagem com feixe de eletrodos é empregado para aumentar a taxa de deposição de metal. Dois a seis eletrodos podem ser agrupados com finos arames em três ou quatro lugares ao longo dos seus comprimentos e o topo se mantém nu - sem revestimento - no local por onde serão presos como mostrado na Fig. 7.29.

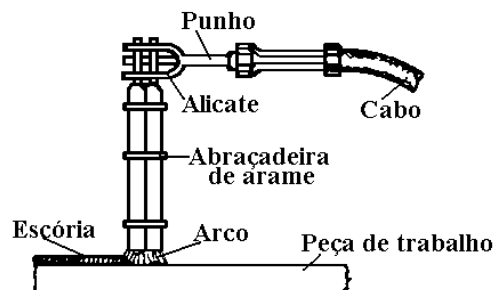



Figura 7.29 : Soldagem com feixe de eletrodos.

Embora a corrente seja conduzida por todos os eletrodo do grupo o arco é somente estabelecido entre o material base e o eletrodo mais próximo. O arco fica sobre este eletrodo até que seu comprimento se mantenha longo para se sustentar e enquanto isso

outro eletrodo mantém um contato mais próximo à superfície da poça de fusão. Então, o arco salta do eletrodo com menor distância do material base, e o processo vai sendo repetido. Assim, o arco salta de um eletrodo a outro em intervalos regulares. Com feixe de dois eletrodo a taxa de produção é aumentada em aproximadamente 30% comparados com técnicas de SMAW normais que usam único eletrodo do mesmo tamanho. Isto porque é possível levar uma corrente de soldagem maior sem superaquecer os eletrodo (devido aos intervalos de resfriamento); o tempo de substituição de eletrodo é reduzido e maior quantidade de calor acumulada melhorando sua eficiência.

Apesar de sua eficiência de deposição mais alta, não é uma técnica popular para solda de alta qualidade. Isto é devido à impossibilidade de manter um comprimento de arco uniforme e uma passagem regular de corrente de um eletrodo para outro, o que freqüentemente conduz a efeitos danosos na proteção da atmosfera circunvizinha à poça de fusão. Embora esta técnica fosse usada em construção de navios para aumentar a taxa de produção ela não é recomendada para soldar componentes críticos ou estruturais.

Às vezes fica difícil de manter a largura de solda por este método. Também, requer que os eletrodo sejam amarrados e alicates especiais para os segurar.

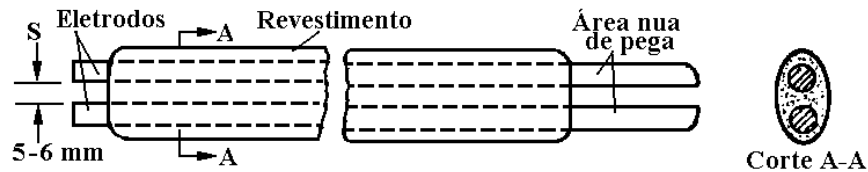



Figura 7.30: Eletrodos revestidos para soldagem por múltiplos arcos.

7.8.3. Soldagem com Múltiplo Arco.

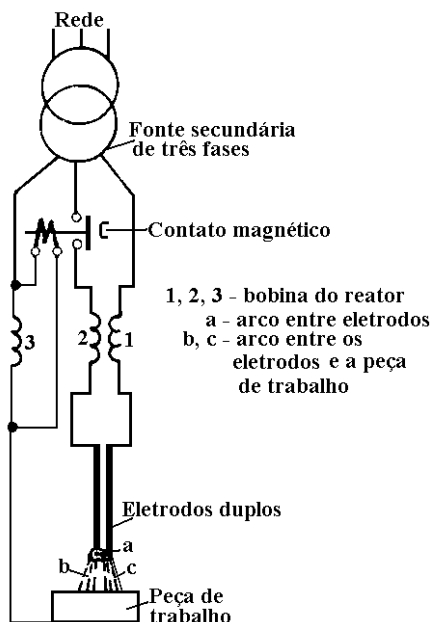
Em soldagem por múltiplo arco, é feito com o uso de eletrodos gêmeos que são separados um do outro como mostrado na Fig. 7.30 e é segurado em alicates especialmente projetadas que conduza a corrente separadamente a cada um dos eletrodo. O espaçamento " S" entre os eletrodo é de 5 a 6 mm.

São conectadas duas fases aos dois eletrodos e a terceira fase para o material base como mostrado na Fig. 7.31. São mantidos três arcos de cada vez dois dos quais "b" e "c" são estabelecidos entre cada eletrodo e o material base, enquanto o terceiro, " a", é estabelecido entre os eletrodos. Como resultado, a taxa de fusão dos eletrodos e a produção são quase dobrados em comparação com a solda de arco simples. O calor do arco é melhor utilizado pois consome uma energia por quilograma de metal depositado de 2.75 Kwh em vez de 3.5 a 4 Kwh em uma única soldagem no arco simples. Porém, o processo é bastante fadigante para o operador pelo acrescido peso dado pelos eletrodos e pelo alicate.

Figura. 7.31 SMAW com transformador trifásico.

O transformador de soldagem trifásico é usado para fornecer corrente na soldagem de arco múltiplo. O enrolamento primário do transformador trifásico, se apresenta conectados em forma de estrela ou delta (para 440 ou 220 volts respectivamente). O circuito secundário consiste em dois enrolamentos, cada volta do cobre nu segue sobre uma das extremidades da alma. No circuito desligado a voltagem secundária é de 68 volts. Além disso o secundário pode variar de 34 volts e 110 volts em aplicações especiais.

Quando a soldagem é interrompida os eletrodos são retirados do material base. Os arcos entre os eletrodos e o material de base são extinguidos, mas o arco entre os eletrodo permanece. Para extinguir este terceiro arco, o transformador de soldagem trifásico incorpora um contato magnético que desconecta a fase dois quando o arco "b" é extinguido; isto conduz a extinção de arco "a" entre os eletrodos.

Os transformadores de solda trifásico normalmente são desenvolvidos para prover uma corrente máxima de 400A em SMAW manual. As vantagens do arco múltiplo incluem aumento da taxa de produção, mais baixo consumo de energia, fator de potência melhorado, e carga equilibrada nas linhas de força.

7.8.4. Soldagem com Eletrodo Maciço.

Outro modo para aumentar a taxa de produção na soldagem é usar eletrodos maciços com diâmetro variando entre 8 a 19 mm e tendo um comprimento de no máximo um metro. Estes eletrodos são construídos especificamente para operações de reparo e obviamente precisam de correntes de soldagem altas. Estes eletrodos são tão grandes e pesados que não é possível usá-los de modo manual normal, eles são segurados por manipuladores para os alimentar ao material base. Um desenho esquemático é apresentado na Fig. 7. 32.

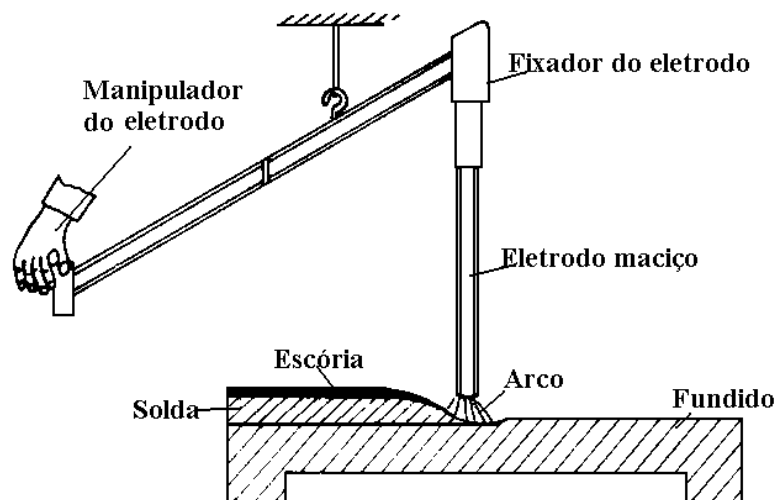



Figura 7.32: Desenho Esquemático para uso de eletrodos maciços

A tabela 7.3A lista vários tamanhos eletrodos maciços de cobre, as correntes exigidas, aproxima o tamanho da poça de fusão, e taxa de deposição atingida.

Tabela 7.3: Dados para eletrodos maciços

Tamanho do eletrodo		Faixa de Corrente com dcep (A)	Tamanho da poça de solda (cm^2)	Razão de metal depositado (kg/hr)
Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)			
8	610	300-500	15-40	4,5
10	610	400-600	40-65	7,0
13	760	600-950	65-130	11,5
16	760	600-1500	130-230	20,5
19	915	1200-2100	230-390	27,0

7.9. Aplicações para o SMAW

Aplicações do processo de SMAW são variados e largamente usado. Dependendo dos eletrodos revestidos disponíveis encontram uso extensivo em todas as especializações nas indústrias de fabricação, que podem incluir artigos de vários tipos, desde reparos até a construção naval e fabricação de vasos de pressão.

Eletrodo usados para diversos processos de fabricação são descrito brevemente.

7.9.1. Eletrodos para Soldagem de Aços de Baixo Carbono

Estes são eletrodo muito bem desenvolvidos e são comercializados sob diferentes nomes e marcas. A maioria destes pertence aos tipos celulósicos, rutílicos e de revestimento básico com ou sem pó férreo. Pode ser usado com revestimento espesso como eletrodo de curto circuito, que é excelente para soldar na posição vertical ascendente.

7.9.1.1. Eletrodos com Revestimento Celulósico (IS:E100413; AWS E6010)

Estes são normalmente de revestimento fino em toda a sua extensão; arco penetrante e forte e escória frágil e fina; satisfatória para todas as posições de trabalho. O metal de soldagem depositado é altamente dúctil.

Aplicações: Oleodutos, tanques, vasos de pressão, componentes estruturais e trabalho de campo onde penetração profunda é necessária. Especialmente servido para oleodutos de pressão dentro dos quais não podem ser soldados pelo lado interno.

7.9.1.2. Eletrodo Rutílico

Há três categorias principais de eletrodo revestido rutílico.

Categoria 1 (IS: E206411; AWS E6012)

É usado em todas as posições com boa penetração e com escória de fácil remoção quando fria. É fácil de operar em todas as posições que inclusive vertical descendente.
Aplicações: Tanques de abastecimento, munhão de engrenagem, maquinaria, mobília de aço, chassis de caminhão, equipamento de fundição, eixos, etc.

Categoria 2 (IS: E307411; AWS 6013)

É usado em todas as posições e fornece arco forte e liso com média penetração. Pouco respingo e escória de fácil remoção. O eletrodo permite soldar depressões nas juntas. Alta taxa de deposição.
Aplicações: Estruturas, construção civil, tanques, oleodutos, peças de maquinas, chassis de automóvel, moldura de janela, maquinaria de fazenda, etc.

Categoria 3 (IS: E307412; AWS E6013)

É usado em todas as posições para trabalho estrutural. Penetração média, menos respingos. Escória fácil remoção. Cordão liso e fácil operar em todas as posições inclusive vertical descendente.
Aplicações: Construção civil, vasos, tanques e caldeiras, oleodutos, pontes, vagões de estrada de ferro, navios.

Oleodutos que trabalha sob pressão não podem ser soldados por dentro, armazenamento de óleo, painéis de vagões de estrada de ferro, caixa de bombeiros para locomotivas.

7.9.1.3. Pó de ferro rutílico para eletrodos.

Há três categorias principais destes revestimentos.

Categoria 1 (IS: E307512; AWS E7014)

Um revestimento de médio a pesado solda em todas as posições contém pó férreo que permite o uso de altas correntes que induz a uma produção de soldagem mais alta com uma eficiência acima de 110%. O metal de solda é altamente dúctil.

Aplicações: Usado para soldar oleodutos pressionados, armazenamento de óleo, navios, caldeiras, vagões de estrada de ferro, etc. com alta velocidade de soldagem. Também é usado para reparar aço de fundição.

Categoria 2 (IS: 327512 K; AWS E7024)

É um eletrodo com revestimento espesso com uma alta taxa de deposição usa soldas em downhand em junta de topo e de ângulo bem como juntas de ângulo horizontais. O eletrodo é muito fácil de manipular e produz solda lisas com muito baixa perda por respingo. A corrente de soldagem é alta e pode ser usada para aumentar a produção e a produtividade. A eficiência de deposição é quase 140%. Pode ser usado como um 'eletrodo de toque'.

Aplicações: É usado para soldar de estruturas pesadas como guindaste e vigas mestras de ponte rolantes, em montagem de equipamento para remover terra, peças de maquinaria pesada, etc.

Categoria 3 (IS: E347512L; AWS E7024)

Eletrodo com revestimento de pó de ferro muito espesso e com uma taxa de recuperação de metal de cerca de 210%, recomendável para alta velocidade de solda usando downhand em solda de topo, de ângulo, e filete de solda horizontal, também pode ser usado como um 'eletrodo de toque'.

Aplicações: Útil para alta velocidade para soldar estrutura pesada como guindaste e vigas mestras de ponte, montagem de equipamentos fora de estrada, e peças de maquinaria pesada, etc.

7.9.1.4. Revestimento ácidos (IS: E422413; AWS E6020)

Revestimento de médio para pesado, produz uma escória fluida para downhand, soldagem horizontal, e vertical. É recomendado especialmente para soldar aço de baixo carbono onde necessita de alta resistência com depósitos de solda de alta qualidade; particularmente em aplicações onde necessita de alta resistência e fadiga. São recomendados o uso de alta corrente e alta velocidade de soldagem para obter uma soldagem econômica com estes eletrodo.

Aplicações: Usado por soldar estrutura pesada, pontes, guindaste, caixas de corpo de bombeiro, chassis de caminhão e estruturas. Excelente para downhand contínuo, solda filete horizontal e para soldadura vertical.

7.9.1.5. Revestimento Básico (IS: E616514 HJ; AWS E7018)

Este tipo de eletrodo apresenta um revestimento de pó férreo de médio a pesado com baixo teor hidrogênio fornece um arco extremamente suave, penetração média e pouco respingo. Escória é facilmente removível. Fácil operar em todas as posições. O metal de solda é altamente flexível e resistente à trincas. Especialmente recomendado para juntas pesadas sujeitas a carga repetidas e carregando dinâmico. Eficiência de deposição de aproximadamente 115%. Precisa ser mantido seco; deve colocar na estufa a temperatura recomendada antes de ser usado.

Aplicações: Usado para soldar forno de aço usado em trabalho de explosão, concha de reator atômico e em tubulação, soldagem em fabricação pesada como substituições a fundição, pontes, turbinas, passes de raiz em juntas pesadas e contidas. Também usado para soldar aços que trabalharão a temperaturas abaixo de zero até -33^{o}C.

7.9.1.6. Camadas especiais (IS: E922xxxP; AWS E6027)

Este tipo de eletrodo apresenta um revestimento de pó férreo super pesado destinado para altas penetrações em solda de topo de ângulo. Em solda de topo pode ser usado em chapas de até 14 mm de espessa. Porém, só pode ser usado em posições planas e horizontais.

Aplicações: Usado para soldar pratos para coberta pesadas, estruturas, etc., pela técnica de penetração profunda evita chanfro e enchimento da junta. Também pode ser usado como corrida de fechamento (selamento) de raiz sem a necessidade de tirar a rebarba da raiz e deposita o filete de solda com penetração além da mesma como em vigas mestras de platô de ponte.

7.9.2. Eletrodo para Soldar Aços de Baixa Liga e de Alta Tensão

Alguns dos eletrodos revestidos usado para soldar aços HSLA (alta resistência, baixa liga) são listados para algumas aplicações.

7.9.2.1. Revestimento Celulósico (IS: E10022A; AWS 7010 -A1)

Este um tipo de celulósico tem um revestimento leve, solda em todas as posições, fornece uma escória de fina e quebradiça e boa penetração. O metal de solda depositado é aço 0,5% de Molibdênio que tem boa ductilidade e resistência à trincas.

Aplicações: Usado para soldar canos C-Mo, equipamentos de construção de estradas, caldeiras, vasos de pressão, ligas aço para elos correntes, chassis e estruturas de caminhão, oleodutos de aço de alta resistência para a transmissão de óleo e de gás. Também recomendado para fabricação soldada com temperatura de serviço de até 525^{o} C.

7.9.2.2. Revestimento Rutílico

São apresentados três categorias de eletrodo em função da composição do arame da alma.

Categoria 1, Aço com 0,5% de Mo (IS: E31422 A; AWS E 7013-A1)

Revestimento espesso com rutílico, solda em todas as posições, baixa liga, eletrodo de aço com resistência de médio a alto, o cordão de aço depositado apresenta 0,5% de Mo. O eletrodo fornece arco calmo., baixo respingo, e escória facilmente destacável. Solda junta de topo em canos ou tubos, arco é muito fácil iniciar e consequentemente recomendado para soldar tubos. Produz cordão liso e com ondulações regulares.

Aplicações: Recomendado para soldar aço que apresenta resistência de médio a alto, fornece cordão de aço de baixa liga com composição de 0.5% Mo, e 1% Cr e 0,5% de Mo. Também recomendado por soldar aços usados em caldeiras, planta de força, refinarias de óleo e nas estruturas das plantas de produtos químicos e soldar tubulações que irão trabalhar com temperatura de serviço de até 525^{o} C.

Categoria 2, Aço com 1- 2% Cr-0.5% Mo (IS: E31432C; AWS E8013 B2)

Revestimento espesso com rutílico, solda em todas as posições, , baixa liga, eletrodo de aço com resistência de médio a alto, o cordão de aço depositado apresenta 1-2% Cr 0,5 Mo. O eletrodo fornece arco calmo, respingo desprezível, e escória facilmente destacável. Arco fácil de inicializar para soldar junta de topo em canos ou tubos, recomendado para soldar tubos.

Aplicações: Usado para soldar tubos e estruturas de caldeiras, plantas de forças, refinarias de óleo, e plantas químicas que irão trabalhar com temperatura de serviço de até 550^o C.

Categoria 3, Aço com 2-25% Cr - 1% Mo (IS: E31431-D; AWS E 9013 B3)

Tem características semelhante a categoria 2 a não ser pelo depósito do cordão de aço de 2.25% Cr - 1% Mo.

Aplicações: Usado para soldar tubos e estruturas de caldeiras, refinarias de óleo, e plantas químicas que irão trabalhar com temperatura de serviço de até 600^o C.

7.9.2.3. Eletrodo Revestimento básico

Eletrodo usado para soldar aços de HSLA ; são usados para aplicações típicas são descrito debaixo as seis categorias.

Categoria 1 (IS: E611514H; AWS E 7016)

Revestimento de médio a pesado, solda em toda as posições, eletrodo de baixo hidrogênio satisfatório para soldar aço fundido, difícil soldar aços com alto carbono e enxofre e aços de composições desconhecidas. O metal de solda é altamente resistente a trinca.
Aplicações: Usado por soldar peças de aço com alto carbono, aço com alto carbono até aço doce, aços de baixa liga, aços com taxa relativamente alta de enxofre, aços fundido, e aços de composição desconhecida.

Categoria 2 (IS: E611514 RJ; AWS E7018)

Revestimento de médio a pesado, baixo hidrogênio, com pó ferro, solda em todas posições estruturas de aços com resistência de média alta, seções pesadas e juntas contidas em aços de alta resistência. O metal de solda contém aproximadamente 14% de manganês que torna resistente à trinca a quente e a frio mas também sujeito à tensões de triaxial. Eficiência de deposição é de aproximadamente 112%.

Aplicações: Satisfatório para soldar pontes, maquinaria pesada, tubo adutor (turbina hidráulica), peças pesadas de equipamento de remover terra e em geral para aço carbono e

aços de baixa liga para fabricação onde serão solicitadas condições severas de serviço. Também recomendado para soldar aços que trabalharam à baixas temperaturas de até -40^o C.

Categoria 3 (IS: E611515 Hj; AWS E7018 G)

Revestimento de médio a pesado, baixo hidrogênio, com pó ferro, satisfatório para aços que serão usados a temperaturas abaixo de zero tais como vasos de pressão, oleodutos, etc. Os valores de impacto de charpy entalhe V são bons à baixas temperaturas de até -60^{o}C. O metal depositado é de aproximadamente 112%.

Aplicações: Usado para soldar aços de baixa liga como aços de Si-Mn e aços que contêm até 1% de níquel. Também usado para soldar aços de alta resistência para trabalho de construção pesada sujeito a carregamento dinâmico.

Categoria 4 (IS: E61122A; AWS E7018-Al)

Revestimento de médio a pesado, baixo hidrogênio, eletrodo com pó ferro que dá ductilidade e resistência à trinca, deposita aço com 0.5% Mo. Dá uma eficiência de metal depositado de aproximadamente 106%.

Aplicações: Usado para soldar aços com 0,5% Mo, e aços com 1% Cr - 5% Mo, oleoduto sujeito à alta temperatura, tubos e plantas de caldeira onde resistência a trinca é necessária. Também recomendado para soldar componentes sujeitos à temperatura elevada de até 525^{o}C.

Categoria 5 (IS: E61131D; AWS E9018 - B3)

Revestimento de médio a pesado, solda em todas as posições, baixo hidrogênio, eletrodo com pó ferro que deposita aço com 2,25% Cr - 1% Mo, com uma eficiência de metal depositado de aproximadamente 106%.

Aplicações: Recomendado para soldar aços HSLA contendo 2,25% Cr-1% Mo usado em caldeiras, plantas de força, refinarias de óleo e em estruturas de plantas de substância química e em tubos sujeitos à temperatura elevada de até 600^o C.

Categoria 6 (IS: MDO1 - 611; AWS E502 - 16)

Revestimento de médio a pesado, solda em todas as posições, baixo hidrogênio, eletrodo com pó ferro que deposita aço com 5% Cr - 0.5% Mo. Precisa de ser mantido seco.

Aplicações: Usado para soldar em refinarias de óleo, casa de força e plantas químicas onde são usados aços de 5% Cr-5% Mo.

7.9.3. Eletrodo Revestido para Soldar Aços Inoxidáveis e Aços Resistente ao Calor

Algumas das categorias bem conhecidas de eletrodo revestido com usos industriais específicos destinados soldar aços inoxidáveis e aços resistente ao calor são descritos nesta seção.

Categoria 1 (IS: MBO1L-311; AWS-ASTM E308L - 16)

Um eletrodo de aço inoxidável com extra baixo carbono, 19/10 Cr-Ni com controlada quantidade de ferrita de 3-7% para máxima resistência ao fendilhamento e a corrosão, e para uso em elevada temperatura até 800^{o} C. O conteúdo de carbono é baixo 0,028% que elimina a possibilidade de corrosão intra cristalina na faixa de temperatura de 425^{o} C até 843^{o} C. O metal de solda tem um excelente resistência à fluência.

Aplicações: Usado para soldar aços inoxidáveis de 18 Cr - 8 Ni representados pela AISI como 301, 302, 304 e 308 tendo muito baixos conteúdos de carbono. Soldagem de utensílios, colher e garfos, artigos domésticos, aparato de hospital, aparato de manipulação de ácido nítrico, acético e ácido cítrico. Também usado por soldar componentes na indústria de sabão, indústrias de laticínio, indústrias de substância química e de fibra como também por fabricar armação de aeronave.

Categoria 2 (IS: MB02 Mo Nb - 311; AWS - ASTM E-318-16)

Eletrodo de aço com baixo carbono 18/13 Cr-Ni, estabilizado ao molibdênio - nióbio com conteúdo de ferrita controlado entre 5 a 8%, máxima resistência à trinca pela corrosão, corrosão química e corrosão intra cristalina. O metal de solda tem grande resistência a trinca sob temperatura de até 850^{o} C.

Aplicações: Usado para soldar aços inoxidáveis 18/8 Cr-Ni, Mo-Nb ou Titânio tais como AISI 318 equipamento destinado ao moagem de papel, equipamento de alvejando, plantas químicas, equipamento de tintura, planta de preservação, fundição, etc. também pode ser usado para soldar aços de não estabilizado dos tipos AISI 316 e 317.

Categoria 3 (IS: MB01 Nb - 610; AWS-ASTM E 347-15)

Eletrodo de aço inoxidável com baixo carbono 19/10 Cr-Ni, estabilizado ao nióbio com revestimento básico com conteúdo de ferrita controlado entre 4 a 9%, máxima resistência à trinca, corrosão, e pode ser usado para elevada temperatura de até 800^{o} C. Estabilização pelo Nióbio previne precipitação de carboneto na faixa de temperatura de 425^{o} C até 843^{o} C. A solda apresenta excelente resistência à trinca.

Aplicações: Usado para soldar aços AISI 321 e 347. Geralmente usado para soldar aços 18/8 de Cr-Ni estabilizados com titânio ou nióbio. Também recomendado na fabricação de equipamento para substância química, industria de processamento de alimento e indústrias de aeronave; para soldar turbinas à gás, e equipamento para indústria de sabão. Também

pode ser usado para soldar aços inoxidáveis instabilizado por exemplo, AISI 301, 302, 304 e 308.

Categoria 4 (IS: MB02 Mo Nb-610; AWS-ASTM E318-15)

Eletrodo com baixo carbono 19/13 Cr-Ni, com revestimento básico estabilizado ao molibdênio ou nióbio com conteúdo de ferrita controlado entre 4 a 9%, máxima resistência à trinca na corrosão e corrosão inter cristalina. O metal de solda tem excelente resistência à trinca para temperaturas de até 850^{o}C.

Aplicações: Usado para soldar equipamento para moagem de papel e equipamento limpeza, plantas químicas que em contato com ácidos sulfúricos, sulfurosos, clorídricos, acéticos, fórmicos, cítricos, tartáricos, etc. equipamento de tintura, planta de preservação, resistente ao calor em fundição, e equipamento de padaria. Também usado para soldar aços inoxidáveis AISI 316 e 318 quando se necessita de máxima resistência à corrosão.

Categoria 5 (IS: MBO5 MoL - 610; AWS-ASTM E316L-15)

Revestimento de médio a pesado, solda em todas as posições são do tipo básico apresenta boas características de desempenho e remoção fácil da escória. Tem uma composição da alma do arame de aço 25/20 Cr-Ni que fornece um deposição de solda semelhante a composição. O eletrodo é especialmente projetado para aplicações de altas temperatura onde são necessárias maior estabilidade e resistência à oxidação. O metal de solda pode ficar com temperatura de até 1200^{o} C em serviço contínuo.

Aplicações: Usado para soldar aços inoxidáveis com 25/20 Cr-Ni e outros tipos de aços resistente ao calor. Para soldar topo de molas, peças de forno de alta temperatura, tubos pré aquecidos para caldeiras de alta pressão, e caixa de recozimento.

Também usado para soldar aços de alto carbono e aços endurecido ao ar, aços alto Mn, aços da estrutura de fundição, e couraça de aços laminado.

Categoria 6 (AWS E410-15)

Revestimento pesado, baixo hidrogênio, solda em todas as posições, eletrodo especialmente projetado para soldar aços cromo ferrítico martensítico. A solda depositada apresenta aproximadamente 13% Cr é endurecida ao ar. O endurecimento pode ser evitado preaquecendo e podem ter alivio de tensões. Baixo respingo e escória facilmente destacável.

Aplicações: Usado para soldar grandes seções em estruturas de aços e conserto de peças de fundição como em construção de turbina e para soldar aços cromo resistente à corrosão e fundição de aço; solda de baixo custo em talheres de aço inoxidável, peças de bomba, equipamento refinaria óleo, lavadoras carvão, etc. Também usado para soldar em geral aços resistentes à corrosão e a calo.

Categoria 7 (IS: MA01-611)

Revestimento pesado, baixo hidrogênio, eletrodo de aço inoxidável austenítico que deposita aço com 18/8/5 Cr-Ni-Mn. A alma do eletrodo é de aço doce e todos os elementos de liga estão na camada do fluxo. A escória é fácil de se remover e o cordão de solda é liso. O metal de solda tem excelente resistência ao calor até 900^{o}C. É resistente à corrosão em atmosfera normal, água do mar, e ácidos fracos, tem uma eficiência de deposição de aproximadamente 135%.

Aplicações: É especialmente projetado para soldar aço austenítico Mn (12% Mn) até aço doce que produz trincas em juntas em aços difícil de soldar e aços de altas liga inclusive armadura chapeie e conserta trincas em aços fundido austenítico Mn, em peças superficiais sujeito ao desgaste e a trinca, por exemplo, agulha de chave de desvio (em ferrovia), em aços de difícil soldar antes de fazer o endurecimento superficial, etc.

7.9.4. Eletrodo cobertos por Soldar ferro Fundido

Raramente é soldado ferro fundido em fabricação normal, porém, freqüentemente é necessário soldá-lo para consertos urgente ou de emergência. Foram desenvolvidos duas categorias eletrodo revestido para ser usado em tais situações e tais eletrodos são discutidos nesta seção.

Categoria 1 (AWS: E Ni-Cu B)

Um revestimento leve a base de grafite solda ferro fundido sem preaquecer e a solda fornece usinabilidade ao ferro fundido. O eletrodo fornece um depósito de monel (Ni-Cu).

Aplicações: Este eletrodo é especialmente projetado para conserto de fundidos quebrados, enche e corrige as superfícies com defeitos, une ferro fundido para o aço, etc.

Categoria 2 (AWS: E NiCl)

Um revestimento leve que deposita níquel. Especialmente utilizado para soldar ferro fundido frio. O níquel depositado no cordão solda une completamente o ferro fundido e não retira o carbono ou qualquer outro elemento do metal de base e os mantém macio e tenaz. A solda depositada é usinavel e a sua resistência à tração é adequada para ferro o fundido.

Aplicações: Usado para consertar fundidos quebrados e recupera superfícies desgastadas nos fundidos, corrigindo os defeitos nos fundidos por usinagem, soldando de ferro fundido aos aços, etc.